

LAMINATED PIEZOELECTRIC DEVICE AND INJECTION EQUIPMENT

Publication number: JP2005072325 (A)

Publication date: 2005-03-17

Inventor(s): NAKAMURA SHIGENOBU +

Applicant(s): KYOCERA CORP +

Classification:

- international: F02M51/00; F02M51/06; H01L41/083; H01L41/09; H01L41/187; H01L41/22; F02M51/00; F02M51/06; H01L41/083; H01L41/09; H01L41/18; H01L41/22; (IPC1-7): F02M51/00; F02M51/06; H01L41/083; H01L41/09; H01L41/187; H01L41/22

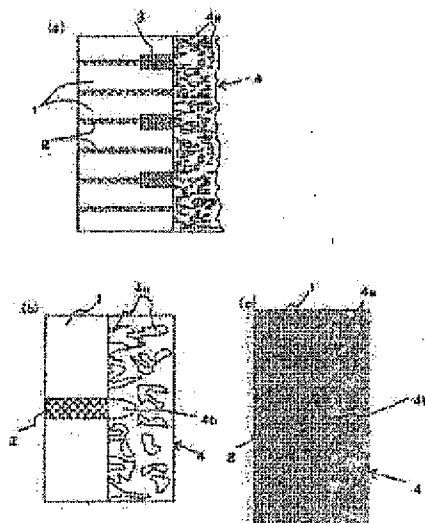
- European:

Application number: JP20030301189 20030826

Priority number(s): JP20030301189 20030826

Abstract of JP 2005072325 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a laminated piezoelectric device which hardly suffers from disconnection between an external electrode and an internal electrode and is superior in durability even if it is operated in a high electrical field under a high pressure for a long term and an injection equipment.
SOLUTION: The laminated piezoelectric device is provided with a laminated body 1a that a plurality of piezoelectric bodies 1 and a plurality of internal electrodes 2 are alternately laminated, and a pair of external electrodes 4 on the side of the laminated body 1a wherein the internal electrodes 2 are alternately connected with every layer therebetween. The external electrode 4 contains a conductive material and a glass, and it is made of porous conductor forming a three-dimensional mesh structure. ; COPYRIGHT: (C)2005,JPO&NCIP



Data supplied from the *espacenet* database — Worldwide

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-72325

(P2005-72325A)

(43) 公開日 平成17年3月17日(2005.3.17)

(51) Int.Cl.⁷

F I

テーマコード (参考)

H O 1 L 41/083

H O 1 L 41/08

Q

3 G 0 6 6

F O 2 M 51/00

F O 2 M 51/00

E

F O 2 M 51/06

F O 2 M 51/06

N

H O 1 L 41/09

H O 1 L 41/08

S

H O 1 L 41/187

H O 1 L 41/08

U

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2003-301189 (P2003-301189)

(22) 出願日

平成15年8月26日 (2003.8.26)

(71) 出願人 000006633

京セラ株式会社

京都府京都市伏見区竹田烏羽殿町6番地

(72) 発明者 中村 成信

鹿児島県国分市山下町1番1号 京セラ株

式会社鹿児島国分工場内

Fターム(参考) 3G066 BA46 CC01 CD17 CD18 CD19

CD30 CE27

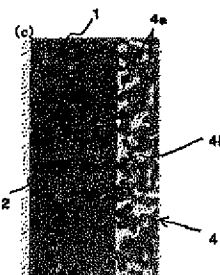
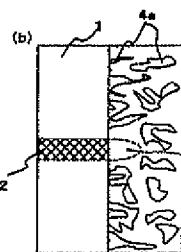
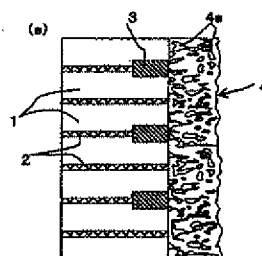
(54) 【発明の名称】 積層型圧電素子及び噴射装置

(57) 【要約】

【課題】 高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合でも、外部電極と内部電極とが断線することがなく、耐久性に優れた積層型圧電素子及び噴射装置を提供する。

【解決手段】 複数の圧電体1と複数の内部電極2とを交互に積層してなる積層体1aと、該積層体1aの側面に設けられ、前記内部電極2が一層おきに交互に接続された一対の外部電極4とを具備してなる積層型圧電素子であって、外部電極4が導電材とガラスを含有し、且つ3次元網目構造をなす多孔質導電体からなる。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体と、該積層体の側面に設けられ、前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極とを具備してなる積層型圧電素子であって、前記外部電極が導電材とガラスを含有し、且つ3次元網目構造をなす多孔質導電体からなることを特徴とする積層型圧電素子。

【請求項2】

外部電極が積層体側面に部分的に接合していることを特徴とする請求項1記載の積層型圧電素子。

【請求項3】

外部電極が積層体側面に露出した内部電極端部と拡散接合していることを特徴とする請求項1又は2記載の積層型圧電素子。

【請求項4】

外部電極の導電材が銀を主成分とすることを特徴とする請求項1乃至3のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項5】

外部電極の空隙率が30～70体積%であることを特徴とする請求項1乃至4のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項6】

外部電極を構成するガラスの軟化点が、前記外部電極を構成する導電材の融点以下であることを特徴とする請求項1乃至5のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項7】

外部電極を構成するガラスが非晶質であることを特徴とする請求項1乃至6のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項8】

外部電極の厚みが積層体を構成する圧電体の厚みよりも薄いことを特徴とする請求項1乃至7のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項9】

積層体側面に形成された凹溝内に圧電体よりもヤング率の低い絶縁体が充填され、内部電極と外部電極が一層置きに絶縁されていることを特徴とする請求項1乃至8のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項10】

内部電極の金属成分がAgを主成分とし、PdおよびPt族金属のうち1種以上を15原子%以下含有することを特徴とする請求項1乃至9のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項11】

外部電極の外面に、金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板が埋設された導電性接着剤からなる導電性補助部材が設けられていることを特徴とする請求項1乃至10のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項12】

導電性接着剤が導電性粒子を分散させたポリイミド樹脂からなることを特徴とする請求項11記載の積層型圧電素子。

【請求項13】

導電性粒子が銀粉末であることを特徴とする請求項12記載の積層型圧電素子。

【請求項14】

噴射孔を有する収納容器と、該収納容器内に収容された請求項1乃至13のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子と、該積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から液体を噴出させるバルブとを具備してなることを特徴とする噴射装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、積層型圧電素子及び噴射装置に関し、例えば、圧電トランスや、自動車用燃料噴射装置、光学装置等の精密位置決め装置や振動防止用の駆動素子等に用いられる積層型圧電アクチュエータ等の積層型圧電素子及び噴射装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来より、積層型圧電素子としては、圧電体と内部電極を交互に積層した積層型圧電アクチュエータが知られている。積層型圧電アクチュエータには、同時焼成タイプと、圧電磁器と内部電極板を交互に積層したスタックタイプとの2種類に分類されており、低電圧化、製造コスト低減の面から考慮すると、同時焼成タイプの積層型圧電アクチュエータが薄層化に対して有利であるために、その優位性を示しつつある。

【0003】

図6は、従来の積層型圧電アクチュエータを示すもので、このアクチュエータでは、圧電体51と内部電極52が交互に積層されて柱状積層体53が形成され、その積層方向における両端面には不活性層55が積層されている。内部電極52は、その一方の端部が柱状積層体53の側面に左右交互に露出しており、この内部電極52の端部が露出した柱状積層体53の側面に、外部電極70が形成されている。内部電極52の他方の端部は絶縁体61により被覆され、外部電極70とは絶縁されている。

【0004】

外部電極は、従来、銀71～95質量%と、残部がガラス粉末5～29質量%と、有機成分からなる導電性ペーストを、柱状積層体53の側面に塗布し、500～1000℃で焼き付けて形成されていた（例えば、特許文献1参照）。

【特許文献1】特開2000-40635号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、従来の積層型圧電アクチュエータでは、高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合、外部電極70が積層体53の伸縮に追従できずに断線したり、外部電極70と内部電極52の間で接点不良を起こしたりして、一部の圧電体51に電圧が供給されなくなり、駆動中に変位特性が変化するという問題があった。

【0006】

即ち、近年においては、小型の積層型圧電アクチュエータで大きな圧力下において大きな変位量を確保するため、より高い電界を印加し、長期間連続駆動させることが行われているが、導電性ペーストを単に柱状積層体53の側面に塗布し、焼き付けただけでは、外部電極70がフレキシブルではなく、柱状積層体53の積層方向への伸縮に追従できず、内部電極52と外部電極70との接続が解除され剥離が発生したり、また外部電極70にクラックが発生して断線し、一部の圧電体51に電圧供給されなくなり、駆動中に変位特性が変化するという問題があった。

【0007】

本発明は、高電界、高圧力下で長期間連続駆動させた場合でも、外部電極と内部電極とが断線することがなく、耐久性に優れた積層型圧電素子及び噴射装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の積層型圧電素子は、複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる積層体と、該積層体の側面に設けられ、前記内部電極が一層おきに交互に接続された一対の外部電極とを具備してなる積層型圧電素子であって、前記外部電極が導電材とガラスを含有し、且つ3次元網目構造をなす多孔質導電体からなることを特徴とする。

【0009】

このような積層型圧電素子では、外部電極が導電材とガラスを含有し、且つ3次元網目

構造をなす多孔質導電体からなるため、例えば、積層体であるアクチュエータ本体が駆動時に積層方向に伸縮した場合においても、外部電極がフレキシブルであるため、外部電極が積層体の伸縮に追従でき、外部電極の断線や外部電極と内部電極の接点不良といった問題が生じるのを防ぐことができる。

【0010】

また、本発明の積層型圧電素子は、外部電極が積層体側面に部分的に接合していることを特徴とする。このような積層型圧電素子では、外部電極を積層体側面に部分的に接合させることにより、全面で接合させる場合よりも、積層体の伸縮に対して発生する応力を柔軟に吸収することができる。

【0011】

さらに、本発明の積層型圧電素子は、外部電極が積層体側面に露出した内部電極端部と拡散接合していることを特徴とする。このような積層型圧電素子では、外部電極を構成する導電材と内部電極を拡散接合することにより強固に接合でき、これにより駆動時に内部電極と外部電極との接続部分での局所発熱やスパークの発生を防ぐことができる。

【0012】

また、本発明の積層型圧電素子は、内部電極端部にネック部が形成されており、このネック部が外部電極中に埋設されていることが望ましい。このような積層型圧電素子では、積層体側面に露出した内部電極端部がネック部を介して外部電極と接続され、積層型圧電素子に大電流を流し、高速で駆動させる場合においても内部電極と外部電極の接合部での局所発熱を防止できる。

【0013】

さらに、本発明の積層型圧電素子は、外部電極の導電材が銀を主成分とすることを特徴とする。このような積層型圧電素子では、外部電極を形成する導電材をヤング率の低い銀とすることにより、積層体の伸縮により発生する応力を柔軟に吸収できる。また、外部電極を構成する導電材を銀とすることにより、内部電極の導電材として一般に用いられている銀-パラジウム合金との拡散接合がしやすくなり、より強固に外部電極と内部電極とを接続することができる。

【0014】

また、本発明の積層型圧電素子は、外部電極の空隙率が30～70体積%であることを特徴とする。外部電極の空隙率を30～70体積%とすることにより、積層体の伸縮によって生じる応力を十分に吸収できる。

【0015】

さらに、本発明の積層型圧電素子は、外部電極を構成するガラスの軟化点が、前記外部電極を構成する導電材の融点以下であることを特徴とする。このような積層型圧電素子では、外部電極の焼き付け温度を、導電材の融点以下で且つガラス成分の軟化点以上の温度にすることができ、導電材の凝集を防止でき、ガラス成分による十分な接合強度を得ることができる。

【0016】

また、本発明の積層型圧電素子は、外部電極を構成するガラスが非晶質であることを特徴とする。ガラス成分を非晶質とすることにより、結晶質よりもヤング率が低いので、外部電極におけるクラックを抑制できる。

【0017】

また、本発明の積層型圧電素子は、外部電極の厚みが積層体を構成する圧電体の厚みよりも薄いことを特徴とする。外部電極の厚みを圧電体の厚みよりも薄くすることにより、外部電極の硬度が小さくなり、積層体が伸縮した際に外部電極と内部電極の接点における負荷を小さくでき、接点不良を抑制できる。

【0018】

さらに、本発明の積層型圧電素子は、外部電極の焼き付け温度(℃)が積層体の焼成温度(℃)の4/5以下の温度であることが望ましい。外部電極の焼き付け温度が柱状積層体の焼成温度の4/5以下であることにより、外部電極を構成するガラス成分の積層体へ

の拡散量を適量とでき、積層体と外部電極の接合強度低下を防止できる。

【0019】

また、本発明の積層型圧電素子は、積層体側面に形成された凹溝内に圧電体よりもヤング率の低い絶縁体が充填され、内部電極と外部電極が一層置きに絶縁されていることを特徴とする。積層体の側面に凹溝を形成し、この凹溝内に絶縁体を充填することにより、内部電極と外部電極との絶縁を確保できるとともに、凹溝内には圧電体よりもヤング率の低い絶縁体が充填されているため、積層体の変形に対して凹溝内の絶縁体が追従して変形し、凹溝近傍におけるクラック等の発生を防止でき、また、発生する応力も低減できる。

【0020】

また、本発明の積層型圧電素子は、内部電極の含有する金属成分が、Agを主成分とし、PdおよびPt族金属のうち1種以上を15原子%以下含有することを特徴とする。内部電極の含有するPdおよびPt族金属の含有量を15原子%以下とすることにより、内部電極と外部電極の組成差を小さくすることができるので、内部電極と外部電極間の金属の相互拡散が良好となり、内部電極と外部電極間の接合の信頼性を向上させ、耐久性を向上させることができる。

【0021】

さらに、本発明の積層型圧電素子は、外部電極の外面に、金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板が埋設された導電性接着剤からなる導電性補助部材が設けられていることを特徴とする。これにより積層体到大電流を投入し、高速で駆動させる場合においても、大電流を導電性補助部材に流すことができるため、外部電極が局所発熱を起こして断線するのを防ぐことができ、耐久性を大幅に向上させることができる。

【0022】

また、導電性接着剤には、金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板が埋設されているため、積層体の伸縮によって導電性接着剤にクラックが生じるといった問題の発生を防止できる。

【0023】

また、本発明の積層型圧電素子は、導電性接着剤が導電性粒子を分散させたポリイミド樹脂からなることを特徴とする。導電性接着剤のマトリックス成分を耐熱性の高いポリイミド樹脂にすることにより、高温での使用に際しても前記導電性接着剤が高い接着強度を維持することができる。

【0024】

さらに、導電性接着剤の導電性粒子が銀粉末であることを特徴とする。導電性粒子として比抵抗の低い銀粉末を用いることにより、該導電性接着剤の抵抗値を低くでき、大電流を流して駆動させる場合においても、局所発熱を防ぐことができる。さらに、導電性粒子間の絡み合いを強固にでき、該導電性接着剤の強度をより高めることができるという理由から、前記導電性粒子はフレーク状や針状などの非球形の粒子であることが望ましい。

【0025】

また、本発明の噴射装置は、噴射孔を有する収納容器と、該収納容器内に収容された上記積層型圧電素子と、該積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から液体を噴出させるバルブとを具備するものである。

【0026】

このような噴射装置では、上記したように、積層型圧電素子自体において外部電極と内部電極との断線を抑制でき、耐久性を大幅に向上できるため、噴射装置の耐久性をも向上できる。

【発明の効果】

【0027】

本発明の積層型圧電素子によれば、外部電極を導電材とガラスを含有する3次元網目構造をなす多孔質導電体にて形成したので、積層型圧電素子の伸縮によって生じる応力を外部電極が十分に吸収することができるため、高電界、高圧力で高速で長期間連続運転させた場合でも、外部電極と内部電極の断線を抑制することができ、高信頼性を備えた積層

型圧電素子を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0028】

図1は本発明の積層型圧電アクチュエータからなる積層型圧電素子の一実施例を示すもので、(a)は斜視図、(b)は(a)のA-A'線に沿った縦断面図である。

【0029】

積層型圧電アクチュエータは、図1に示すように、複数の圧電体1と複数の内部電極2とを交互に積層してなる四角柱状の柱状積層体1aの側面において、内部電極2の端部を一層おきに絶縁体3で被覆し、絶縁体3で被覆していない内部電極2の端部に、銀を主成分とする導電材とガラスからなり、且つ3次元網目構造をなす多孔質導電体からなる外部電極4を接合し、各外部電極4にリード線6を接続固定して構成されている。尚、符号9は不活性層である。

【0030】

圧電体1は、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛 $Pb(Zr, Ti)O_3$ （以下PZTと略す）、或いはチタン酸バリウム $BaTiO_3$ を主成分とする圧電セラミックス材料等で形成されている。この圧電セラミックスは、その圧電特性を示す圧電歪み定数 d_{33} が高いものが望ましい。

【0031】

また、圧電体1の厚み、つまり内部電極2間の距離は $50\sim 250\mu m$ が望ましい。これにより、積層型圧電アクチュエータは電圧を印加してより大きな変位量を得るために積層数を増加させたとしても、アクチュエータの小型化、低背化ができるとともに、圧電体1の絶縁破壊を防止できる。

【0032】

圧電体1の間には内部電極2が配されているが、この内部電極2は銀-パラジウム等の金属材料で形成されており、各圧電体1に所定の電圧を印加し、圧電体1に逆圧電効果による変位を起こさせる作用をなす。

【0033】

また、柱状積層体1aの側面に一層おきに深さ $30\sim 500\mu m$ 、積層方向の幅 $30\sim 200\mu m$ の溝が形成されており、この溝内には、圧電体1よりもヤング率の低いガラス、エポキシ樹脂、ポリイミド樹脂、ポリアミドイミド樹脂、シリコーンゴム等が充填されて絶縁体3が形成されている。この絶縁体3は、柱状積層体1aとの接合を強固とするために、柱状積層体1aの変位に対して追従する弾性率が低い材料、特にシリコーンゴム等からなることが好適である。

【0034】

柱状積層体1aの対向する側面には外部電極4が接合されており、該外部電極4には、積層されている内部電極2が一層おきに電気的に接続されている。この外部電極4は、接続されている各内部電極2に圧電体1を逆圧電効果により変位させるに必要な電圧を共通に供給する作用をなす。

【0035】

さらに、外部電極4にはリード線6が半田により接続固定されている。このリード線6は外部電極4を外部の電圧供給部に接続する作用をなす。

【0036】

そして本発明では、外部電極4が、導電材とガラスを含有し、図2に示すように、3次元網目構造をなす多孔質導電体から構成されている。ここで、3次元網目構造とは、外部電極4にいわゆる球形のボイドが存在している状態を意味するのではなく、外部電極4を構成する導電材粉末とガラス粉末が、比較的低温で焼き付けられている為に、焼結が進みきらずにボイドがある程度連結した状態で存在し、外部電極4を構成する導電材粉末とガラス粉末が3次元的に連結、接合した状態を指す。尚、図2(a)は、図1(b)の一部を拡大した断面図、(b)は(a)をさらに拡大した断面図である。

【0037】

外部電極4は、導電材80～97体積%と、ガラス3～20体積%からなり、微量のガラスが導電材中に分散している。ガラスは5～15体積%含有することが望ましい。この外部電極4は、柱状積層体1aの側面に部分的に接合している。即ち、柱状積層体1aの側面に露出した内部電極2の端部とは拡散接合しており、柱状積層体1aの圧電体1の側面とは部分的に接合している。つまり、圧電体1の側面には導電材とガラスの混合物が一部接合し、圧電体1の側面と外部電極4との間には空隙4aが形成されている。また、外部電極4中にも空隙4aが多数形成され、これにより、外部電極4が多孔質導電体から構成されている。空隙4aの形状は、導電材とガラスの焼き付け前の形状が比較的そのまま残存した複雑な形状である。

【0038】

本発明では、このように導電材とガラスからなり、且つ3次元網目構造をなす多孔質導電体からなる外部電極4が内部電極2と拡散接合し、また、柱状積層体1aと部分的に接合されているため、アクチュエータを高電界、高圧力下で長時間連続駆動させた場合でも、外部電極4と内部電極2の間でスパークを起こしたり、また、外部電極4が柱状積層体1aから剥離したり、断線したりするといった問題が生じるのを防ぐことができる。本発明では、外部電極4を形成する導電材とガラスからなる導電材ペーストを比較的低温で焼き付けを行うことにより、外部電極4を全体的に多孔質体にすることができ、柱状積層体1aの側面に部分的に接合できる。

【0039】

外部電極4を構成する導電材はアクチュエータの伸縮によって生じる応力を十分に吸収するという点から、ヤング率の低い銀、若しくは銀が主成分の合金が望ましい。

【0040】

また、本発明では、図2(b)に示すように、外部電極4と接続している内部電極2端部にネック部4bが形成されており、内部電極2と外部電極4の強固な接続が実現できている。ネック部4bは、外部電極4中の導電材と内部電極2の電極材料とが拡散接合することによって形成されている。

【0041】

さらに、本発明では、外部電極4中の空隙率、即ち、外部電極4中にしめる空隙4aの比率が30～70体積%とされている。これにより、アクチュエータの伸縮によって生じる応力を柔軟に受けることができる。つまり、外部電極4中の空隙率が30体積%より小さい場合においては、外部電極4がアクチュエータの伸縮によって生じる応力に耐えきれずに、外部電極4が断線してしまう可能性がある。一方で、外部電極4中の空隙率が70体積%より大きい場合には外部電極4の抵抗値が大きくなってしまい、大電流を流した際に外部電極4が局所発熱を起こし、断線してしまう可能性がある。

【0042】

また、本発明では、外部電極4を構成するガラス成分の軟化点が、外部電極4を構成する導電材の融点以下とされている。これは、外部電極4の焼き付け温度を導電材の融点以下で且つガラス成分の軟化点以上の温度にすることができるためである。これにより、ガラス成分の軟化点以上で且つ導電材の融点以下の温度で焼き付けを行うことができるため、導電材の凝集を防ぎ、多孔質体とでき、十分な接合強度で焼き付けを行うことができる。

【0043】

また、本発明では、外部電極4を構成するガラス成分が非晶質とされている。これによって、アクチュエータの伸縮によって生じる応力を外部電極4が吸収することができ、クラック等の発生を防ぐことができる。

【0044】

また、本発明では、外部電極4の厚みが柱状積層体1aを構成する圧電体1の厚みよりも薄くされていることが望ましい。これにより、外部電極4が柱状積層体1aの積層方向に対して適度の強度を有し、アクチュエータが伸縮した際に外部電極4と内部電極2の接点における負荷の増大を防止でき、接点不良を防止できる。

【0045】

本発明の積層型圧電素子の製法について説明する。まず、柱状積層体1aを作製する。複数の圧電体1と複数の内部電極2とを交互に積層して成る柱状積層体1aは、PZT等の圧電セラミックスの仮焼粉末と、アクリル系、ブチラール系等の有機高分子から成るバインダーと、DBP（フタル酸ジオチル）、DOP（フタル酸ジブチル）等の可塑剤とを混合してスラリーを作製し、該スラリーを周知のドクターブレード法やカレンダーロール法等のテープ成型法により圧電体1となるセラミックグリーンシートを作製する。

【0046】

次に、銀-パラジウム粉末にバインダー、可塑剤等を添加混合して導電性ペーストを作製し、これを前記各グリーンシートの上面にスクリーン印刷等によって1~40 μ mの厚みに印刷する。

【0047】

そして、上面に導電性ペーストが印刷されたグリーンシートを複数積層し、この積層体について所定の温度で脱バインダーを行った後、900~1200℃で焼成することによって柱状積層体1aが作製される。

【0048】

尚、柱状積層体1aは、上記製法によって作製されるものに限定されるものではなく、複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる柱状積層体1aを作製できれば、どのような製法によって形成されても良い。

【0049】

その後、図3(a)に示すように、ダイシング装置等により柱状積層体1aの側面に一層おきに溝を形成する。

【0050】

さらに、粒径0.1~10 μ mの銀粉末を80~97体積%と、残部が粒径0.1~10 μ mでケイ素を主成分とする軟化点が450~800℃のガラス粉末3~20体積%からなる混合物に、バインダーを加えて銀ガラス導電性ペーストを作製し、これをシート状に成形し、乾燥した（溶媒を飛散させた）シート21の生密度を6~9g/cm³に制御し、このシート21を、図3(b)に示すように、溝が形成された柱状積層体1aの外部電極形成面に転写し、ガラスの軟化点よりも高い温度、且つ銀の融点（965℃）以下の温度で、且つ焼成温度（℃）の4/5以下の温度で焼き付けを行うことにより、図3(c)に示すように、銀ガラス導電性ペーストを用いて作製したシート21中のバインダー成分が飛散消失し、3次元網目構造をなす多孔質導電体からなる外部電極4を形成することができる。

【0051】

特に、3次元網目構造の外部電極4を形成するには、シート21の生密度を6~9g/cm³に制御することが重要である。シート21の生密度はアルキメデス法により測定できる。特に、外部電極4の空隙率を30~70%とするためには、生密度を6.2~7.0g/cm³とすることが望ましい。

【0052】

この銀ガラス導電性ペーストの焼き付けの際に、外部電極4中に空隙4aが形成されるとともに、銀ガラス導電性ペースト中の銀が内部電極2中の銀-パラジウム合金と拡散接合し、ネック部4bが形成され、また、該外部電極4が積層体側面に部分的に接合される。ネック部4bは、内部電極2からPdが拡散し、銀-パラジウム合金を形成している。

【0053】

なお、前記銀ガラス導電性ペーストの焼き付け温度は、ネック部4bを有効的に形成し、銀ガラス導電性ペースト中の銀と内部電極2を拡散接合させ、また、外部電極4中の空隙を有効に残存させ、さらには、外部電極4と柱状積層体1a側面とを部分的に接合させるという点から、550~700℃が望ましい。また、銀ガラス導電性ペースト中のガラス成分の軟化点は、500~700℃が望ましい。

【0054】

焼き付け温度が700℃より高い場合には、銀ガラス導電性ペーストの銀粉末の焼結が進みすぎ、有効的な3次元網目構造をなす多孔質導電体を形成することができず、外部電極4が緻密になりすぎてしまい、結果として外部電極4のヤング率が高くなりすぎ駆動時の応力を十分に吸収することができずに外部電極4が断線してしまう可能性がある。好ましくは、ガラスの軟化点の1.2倍以内の温度で焼き付けを行った方がよい。

【0055】

一方、焼き付け温度が550℃よりも低い場合には、内部電極2端部と外部電極4の間で十分に拡散接合がなされないために、ネック部4bが形成されず、駆動時に内部電極2と外部電極4の間でスパークを起こしてしまう可能性がある。

【0056】

なお、銀ガラス導電性ペーストのシート21の厚みは、圧電体1の厚みよりも薄いことが望ましい。さらに好ましくは、アクチュエータの伸縮に追従するという点から、50μm以下がよい。

【0057】

銀ガラス導電性ペースト21中の銀粉末を80～97体積%、残部のガラス粉末を3～20体積%としたのは、銀粉末が80体積%より少ない場合には、相対的にガラス成分が多くなり、焼き付けを行った際に、外部電極4中に有効的に空隙4aを形成することや該外部電極4を柱状積層体1a側面に部分的に接合することができず、一方、銀粉末が97体積%より多い場合には、相対的にガラス成分が少なくなり外部電極4と柱状積層体1aとの接合強度が弱くなり、アクチュエータを駆動中に外部電極4が柱状積層体1aから剥離してしまう恐れがあるためである。

【0058】

また、外部電極4を構成するガラス成分は、シリカガラス、ソーダ石灰ガラス、鉛アルカリけい酸ガラス、アルミノほうけい酸塩ガラス、ほうけい酸塩ガラス、アルミノけい酸塩ガラス、ほう酸塩ガラス、りん酸塩ガラス等を用いる。

【0059】

例えば、ほうけい酸塩ガラスとしては、 SiO_2 40～70質量%、 B_2O_3 2～30質量%、 Al_2O_3 0～20質量%、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO のようなアルカリ土類金属酸化物を総量で0～10質量%、アルカリ金属酸化物0～10質量%含有するものを使用することができる。また、上記ほうけい酸塩ガラスに、5～30質量%の ZnO を含むようなガラスとしても構わない。 ZnO は、ほうけい酸塩ガラスの作業温度を低下させる効果がある。

【0060】

また、りん酸塩ガラスとしては、 P_2O_5 40～80質量%、 Al_2O_3 0～30質量%、 B_2O_3 0～30質量%、 ZnO 0～30質量%、アルカリ土類金属酸化物0～30質量%、アルカリ金属酸化物0～10質量%を含むようなガラスを使用することができる。

【0061】

また、鉛ガラスとしては、 PbO 30～80質量%、 SiO_2 0～40質量%、 Bi_2O_3 0～30質量%、 Al_2O_3 0～20質量%、 ZnO 0～30質量%、アルカリ土類金属酸化物0～30質量%、アルカリ金属酸化物0～10質量%を含むようなガラスを使用することができる。

【0062】

次に、外部電極4を形成した柱状積層体1aをシリコーンゴム溶液に浸漬するとともに、シリコーンゴム溶液を真空脱気することにより、柱状積層体1aの溝内部にシリコーンゴムを充填し、その後シリコーンゴム溶液から柱状積層体1aを引き上げ、柱状積層体1aの側面にシリコーンゴムをコーティングする。その後、溝内部に充填、及び柱状積層体1aの側面にコーティングした前記シリコーンゴムを硬化させる。

【0063】

その後、外部電極4にリード線6を接続することにより本発明の積層型圧電素子が完成

する。

【0064】

そして、リード線6を介して一対の外部電極4に0.1〜3kV/mmの直流電圧を印加し、柱状積層体1aを分極処理することによって、製品としての積層型圧電アクチュエータが完成し、リード線6を外部の電圧供給部に接続し、リード線6及び外部電極4を介して内部電極2に電圧を印加させれば、各圧電体1は逆圧電効果によって大きく変位し、これによって例えばエンジンに燃料を噴射供給する自動車用燃料噴射弁として機能する。

【0065】

以上のように構成された積層型圧電素子は、銀を主成分とした導電材とガラスを含有し、且つ3次元網目構造をなす多孔質導電体からなる外部電極4が部分的に柱状積層体1a側面に接続されているため、アクチュエータを高電界下、連続で駆動させた場合でも、外部電極4が駆動時に発生する応力を十分に吸収できるため、外部電極4と内部電極2の間でスパークを起こしたり、外部電極4が断線したりするといった問題が生じることを防ぐことができ、高信頼性のアクチュエータを提供することができる。

【0066】

さらに、本発明では、図4に示すように、外部電極4の外面に、金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板7bが埋設された導電性接着剤7aからなる導電性補助部材7を形成してもよい。この場合には、外部電極4の外面に導電性補助部材7を設けることによりアクチュエータに大電流を投入し、高速で駆動させる場合においても、大電流を導電性補助部材7に流すことができ、外部電極4に流れる電流を低減できるという理由から、外部電極4が局所発熱を起こし断線することを防ぐことができ、耐久性を大幅に向上させることができる。さらには、導電性接着剤7a中に金属のメッシュ若しくはメッシュ状の金属板7bを埋設しているため、前記導電性接着剤7aにクラックが生じるのを防ぐことができる。

【0067】

尚、図2(a)、図4(c)では、便宜上外部電極の厚みを圧電体の厚みよりも厚く形成した。

【0068】

金属のメッシュとは金属線を編み込んだものであり、メッシュ状の金属板とは、金属板に孔を形成してメッシュ状にしたものをいう。

【0069】

また、本発明では、内部電極2の含有する金属成分が、Agを主成分とし、PdおよびPt族金属のうち1種以上を15原子%以下含有することが好ましい。内部電極2の含有するPdおよびPt族金属の含有量を15原子%以下とすることにより、内部電極2と外部電極4の組成差を小さくすることができるので、内部電極2と外部電極4間の金属の相互拡散が良好となり、内部電極2と外部電極4間の接合の信頼性を向上させ、耐久性を向上させることができる。また、内部電極2には、柱状積層体1aと略同一の組成の粉末を適宜含有させることにより、柱状積層体1a中の内部電極2の接合力を向上させることができる。

【0070】

さらに、前記導電性補助部材7を構成する導電性接着剤7aは銀粉末を分散させたポリイミド樹脂からなることが望ましい。即ち、比抵抗の低い銀粉末を、耐熱性の高いポリイミド樹脂に分散させることにより、高温での使用に際しても、抵抗値が低く且つ高い接着強度を維持した導電性補助部材7を形成することができる。さらに望ましくは、前記導電性粒子はフレーク状や針状などの非球形の粒子であることが望ましい。これは、導電性粒子の形状をフレーク状や針状などの非球形の粒子とすることにより、該導電性粒子間の絡み合いを強固にすることができ、該導電性接着剤7aのせん断強度をより高めることができるためである。

【0071】

本発明の積層型圧電素子はこれらに限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しな

い範囲であれば種々の変更は可能である。

【0072】

また、上記例では、柱状積層体1aの対向する側面に外部電極4を形成した例について説明したが、本発明では、例えば隣設する側面に一對の外部電極を形成してもよい。

【0073】

図5は、本発明の噴射装置を示すもので、図において符号31は収納容器を示している。この収納容器31の一端には噴射孔33が設けられ、また収納容器31内には、噴射孔33を開閉することができるニードルバルブ35が収容されている。

【0074】

噴射孔33には燃料通路37が連通可能に設けられ、この燃料通路37は外部の燃料供給源に連結され、燃料通路37に常時一定の高圧で燃料が供給されている。従って、ニードルバルブ35が噴射孔33を開放すると、燃料通路37に供給されていた燃料が一定の高圧で内燃機関の図示しない燃料室内に噴出されるように形成されている。

【0075】

また、ニードルバルブ35の上端部は直径が大きくなっており、収納容器31に形成されたシリンダ39と摺動可能なピストン41となっている。そして、収納容器31内には、上記した圧電アクチュエータ43が収納されている。

【0076】

このような噴射装置では、圧電アクチュエータ43が電圧を印加されて伸長すると、ピストン41が押圧され、ニードルバルブ35が噴射孔33を閉塞し、燃料の供給が停止される。また、電圧の印加が停止されると圧電アクチュエータ43が収縮し、皿バネ45がピストン41を押し返し、噴射孔33が燃料通路37と連通して燃料の噴射が行われるようになっていく。

【実施例】

【0077】

実施例

まず、柱状積層体を作製した。圧電体は厚み $150\mu\text{m}$ のPZTで形成し、内部電極は厚み $3\mu\text{m}$ の銀-パラジウム合金(Pd 10原子%含有)によって形成し、圧電体及び内部電極の各々の積層数は300層とした。なお、焼成温度は 1000°C であった。

【0078】

その後、図3(a)に示すように、ダイシング装置により柱状積層体の側面の内部電極の端部に一層おきに深さ $50\mu\text{m}$ 、幅 $50\mu\text{m}$ の溝を形成した。

【0079】

次に、平均粒径 $2\mu\text{m}$ のフレーク状の銀粉末を90体積%と、残部が平均粒径 $2\mu\text{m}$ のケイ素を主成分とする軟化点が 640°C の非晶質のガラス粉末10体積%との混合物に、バインダーを銀粉末とガラス粉末の合計重量100質量部に対して8質量部添加し、十分に混合して銀ガラス導電性ペーストを作製した。このようにして作製した銀ガラス導電性ペーストを離型フィルム上にスクリーン印刷によって形成し、乾燥後、離型フィルムより剥がして、銀ガラス導電性ペーストのシートを得た。このシートの生密度をアルキメデス法にて測定したところ、 $6.5\text{g}/\text{cm}^3$ であった。

【0080】

次に、図3(b)に示すように、前記銀ガラスペーストのシートを柱状積層体の外部電極面に転写し、 650°C で30分焼き付けを行い、図3(c)に示すように、3次元網目構造をなす多孔質導電体からなる外部電極を形成した。なお、この時の外部電極の空隙率は、外部電極の断面写真を画像解析装置を用いて測定したところ40%であった。また、分析電子顕微鏡(EPM)により測定したところ、銀ガラス導電性ペースト中の銀と内部電極中の銀-パラジウム合金が互いに拡散し、接合され、内部電極との接合部に、内部電極からパラジウムが拡散したネック部が形成されていた。さらに、外部電極の断面写真により測定したところ、外部電極と柱状積層体側面の接合部分は、約50%であった。

【0081】

その後、外部電極にリード線を接続し、正極及び負極の外部電極にリード線を介して3 kV/mmの直流電界を15分間印加して分極処理を行い、図1に示すような積層型圧電アクチュエータを作製した。

【0082】

得られた積層型圧電アクチュエータに170Vの直流電圧を印加した結果、積層方向に45 μ mの変位量が得られた。さらに、このアクチュエータに室温で0～+170Vの交流電圧を150Hzの周波数にて印加し駆動試験を行った結果、 2×10^8 サイクルまで駆動したところ45 μ mの変位量が得られ、外部電極の異常は見られなかった。また、銀ガラス導電性ペーストの生密度を変化させ、外部電極の空隙率が30体積%、70体積%の外部電極を形成した以外は、上記と同様にして積層型圧電アクチュエータを作製し、評価したところ、 2×10^8 サイクルまで駆動したところ45 μ mの変位量が得られ、外部電極の異常は見られなかった。

【0083】

比較例

銀ガラス導電性ペーストを、柱状積層体の側面に塗布し乾燥し（生密度9.1g/cm³）、焼き付け温度を820℃に変更した以外は実施例と同様の構成の積層型圧電アクチュエータを作製した。この時の外部電極は3次元網目構造をなしておらず、ほぼバルク体であり、空隙率は10%で、球形状のボイドを有し、柱状積層体側面とは全面で接合されていた。

【0084】

得られた積層型圧電アクチュエータに、実施例と同様に、室温で0～+170Vの交流電圧を150Hzの周波数にて印加し駆動試験を行った結果、 5×10^6 サイクルで外部電極が断線し、スパークが生じてしまった。

【図面の簡単な説明】

【0085】

【図1】本発明の積層型圧電素子を示すもので、(a)は斜視図、(b)は(a)のA-A'線に沿った縦断面図である。

【図2】(a)及び(b)は図1(b)の一部を拡大して示す断面図、(c)は断面写真である。

【図3】本発明の積層型圧電素子の製法を説明するための説明図である。

【図4】外部電極の外面に導電性補助部材を形成した積層型圧電素子を示すもので、(a)は斜視図、(b)は(a)のA-A'線断面図、(c)は(b)の一部を拡大して示す断面図である。

【図5】本発明の噴射装置を示す説明図である。

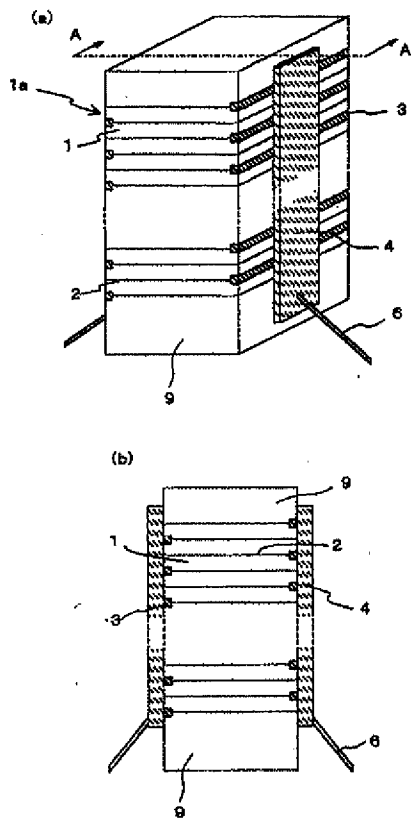
【図6】従来の積層型圧電アクチュエータの縦断面図である。

【符号の説明】

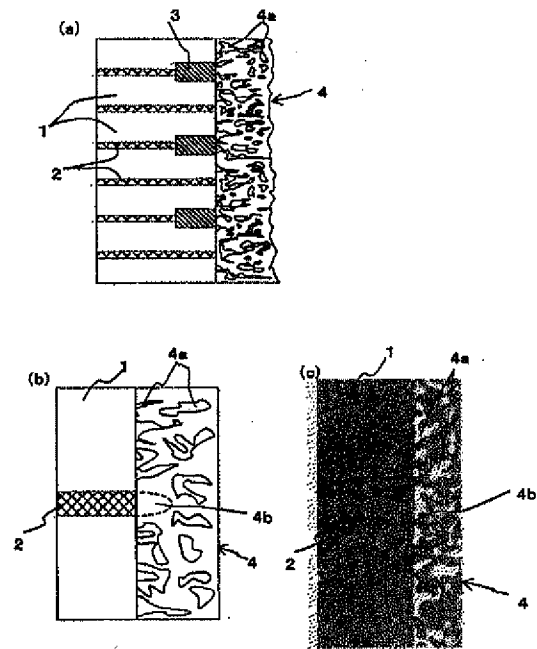
【0086】

- 1・・・圧電体
- 1a・・・柱状積層体
- 2・・・内部電極
- 3・・・絶縁体
- 4・・・外部電極
- 4a・・・空隙
- 4b・・・ネック部
- 7・・・導電性補助部材
- 31・・・収納容器
- 33・・・噴射孔
- 35・・・バルブ
- 43・・・圧電アクチュエータ

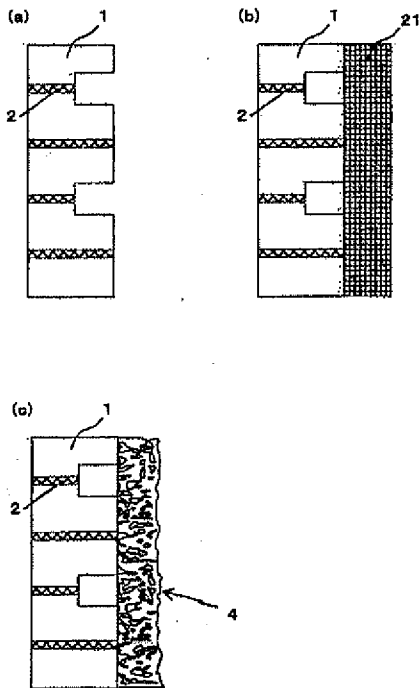
【図1】



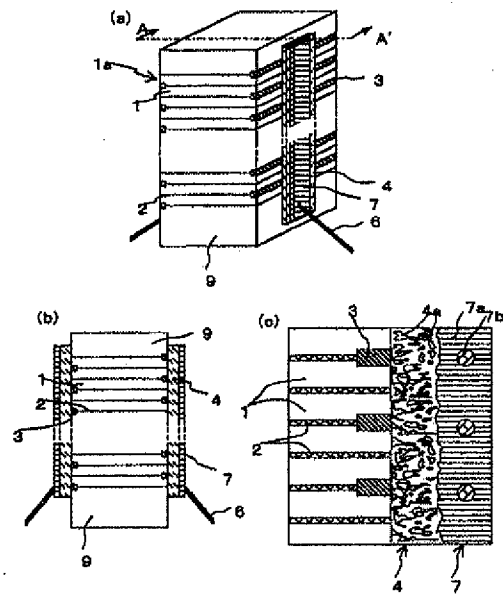
【図2】



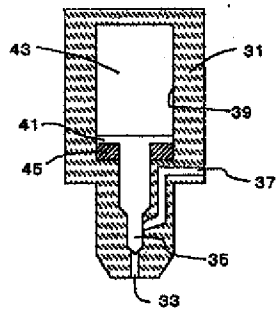
【図3】



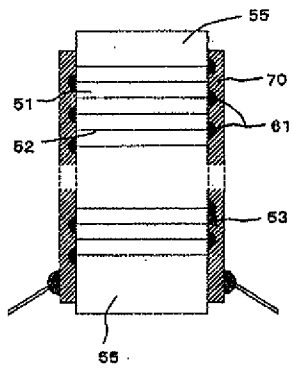
【図4】



【図5】



【図6】



(51)Int.Cl.⁷

H01L 41/22

FI

H01L 41/08 R

H01L 41/18 101D

H01L 41/22 Z

テーマコード (参考)